



## Comment interpréter les paramètres des explorations fonctionnelles respiratoires de routine en 2023?

### How to interpret parameters of routine lung function tests in 2023?

Fatma Guezguez<sup>1-3</sup>, Inès Ghannouchi<sup>1-3</sup>, Amani Sayhi<sup>1-3</sup>, Emna Charfedji<sup>1</sup>, Arwa Yahyaoui<sup>1</sup>, Sonia Rouatbi<sup>1-3</sup>, Helmi Ben Saad<sup>1-3</sup>

1. Service de physiologie et explorations fonctionnelles. EPS Farhat Hached. Sousse. Tunisie.
2. Laboratoire de physiologie. Faculté de Médecine de Sousse. Université de Sousse. Sousse. Tunisie.
3. Laboratoire de recherche "Insuffisance Cardiaque, LR12SP09", EPS Farhat Hached, Sousse, Tunisie.

#### RÉSUMÉ

Le diagnostic et la prise en charge des maladies respiratoires chroniques les plus fréquentes reposent en partie sur les paramètres des explorations fonctionnelles respiratoires (EFRs), telles que la spirométrie, la pléthysmographie, et la mesure de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO). En pratique, l'interprétation des paramètres des EFRs est basée sur les recommandations internationales émises par des sociétés savantes renommées telles que la Société Thoracique Américaine (ATS) ou la Société Respiratoire Européenne (ERS). Les standards d'interprétation des EFRs établis par l'ATS/ERS en 2005 ont été mis à jour en 2022. Selon l'ATS/ERS-2022, l'interprétation des EFRs se résume en cinq étapes. La première étape consiste à comparer les paramètres déterminés à ceux observés dans une population de référence d'individus en bonne santé. Cette étape permet de décider si les paramètres déterminés sont bas, normaux ou augmentés. La deuxième étape vise à identifier d'éventuels déficits ventilatoires, tels qu'un déficit ventilatoire obstructif et/ou restrictif qui peuvent être observés dans certaines maladies respiratoires ou extra-respiratoires chroniques. La troisième étape consiste à évaluer la sévérité du déficit ventilatoire identifié ou de la diminution de la DLCO. La quatrième étape consiste à évaluer la réponse au test de bronchodilatation, si celui-ci a été réalisé. Enfin, s'il existe des résultats d'EFRs antérieures, il est important d'identifier les changements significatifs de certains paramètres des EFRs au fil du temps, en comparant les résultats actuels avec les résultats antérieurs. Le présent guide de pratique clinique des différentes étapes d'interprétation des EFRs, en tenant compte des recommandations de l'ATS/ERS-2022, offre une synthèse complète sur le sujet.

**Mots clés:** Algorithme ; Asthme ; BPCO ; EFR ; Interprétation ; Sociétés savantes ; VEMSQ ; z-score

#### ABSTRACT

The diagnosis and management of the most prevalent chronic respiratory diseases partially rely on parameters obtained from pulmonary functional tests (PFTs), including spirometry, plethysmography, and carbon monoxide diffusion capacity (DLCO) measurement. In practice, the interpretation of PFTs' parameters is based on international recommendations issued by renowned scientific societies such as the American Thoracic Society (ATS) and the European Respiratory Society (ERS). The interpretation standards for PFTs established by ATS/ERS in 2005 were updated in 2022. According to the ATS/ERS-2022 standards, the interpretation of PFTs can be summarized in five steps. The first step involves comparing the determined parameters with those observed in a reference population of healthy individuals. This step helps determine whether the determined parameters are low, normal, or elevated. The second step aims to identify potential ventilatory impairments, such as obstructive and/or restrictive ventilatory impairments, which can be observed in certain chronic respiratory or extrapulmonary diseases. The third step involves assessing the severity of the identified ventilatory impairment or the decrease in DLCO. The fourth step entails evaluating the response to bronchodilator testing, if performed. Finally, if previous PFTs results are available, it is important to identify significant changes in certain PFTs parameters over time by comparing current and previous results. This clinical practice guide provides a comprehensive synthesis of the different steps in PFTs interpretation, taking into account the recommendations from ATS/ERS-2022.

**Keywords:** Algorithm; Asthma; COPD; PFT; Interpretation; Scientific societies; FEV1Q, z-score

#### Correspondance

Helmi Ben Saad  
Email : helmi.bensaad@rns.tn

## INTRODUCTION

La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) l'asthme et les pneumopathies interstitielles sont parmi les maladies respiratoires chroniques les plus courantes (1) et leur diagnostic/suivi repose principalement sur les paramètres des explorations fonctionnelles respiratoires (EFRs) telles que la spirométrie, la pléthysmographie, et la mesure de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO) (2, 3). Les EFRs sont essentielles non seulement pour le diagnostic, mais aussi pour évaluer la sévérité de la maladie et suivre sa progression (2, 3). Par conséquent, il est crucial que l'interprétation des paramètres des EFRs soit fiable, de qualité, et basée sur les dernières données scientifiques disponibles (4).

Dans la pratique, l'interprétation des EFRs suit les recommandations internationales de sociétés savantes renommées telles que la Société Thoracique Américaine (ATS) et la Société Respiratoire Européenne (ERS). Les standards d'interprétation des EFRs établis par l'ATS/ERS en 2005 (5) ont été radicalement mis à jour et révisés en 2022 (4). Ces révisions sont d'une importance considérable, nécessitant une adaptation et une prise en compte dans la pratique courante.

L'objectif principal de ce guide de pratique clinique est de présenter et synthétiser les recommandations de l'ATS/ERS-2022 concernant l'interprétation des paramètres des EFRs courantes telles que la spirométrie, la pléthysmographie, et la DLCO (4). Ce guide de pratique clinique sera bénéfique pour les médecins et les chercheurs francophones pratiquant et/ou interprétant les EFRs de routine.

### QUE MESURE-T-ON PAR DES EFR<sub>s</sub> DE ROUTINE ?

La spirométrie, la pléthysmographie et la DLCO sont des techniques qui permettent de déterminer divers paramètres, tels que les débits bronchiques, les volumes pulmonaires, les capacités pulmonaires et la DLCO. Les aspects techniques ainsi que les équations de référence Tunisiennes pour ces EFRs ont été largement détaillés dans des publications antérieures (6, 7).

La spirométrie permet de déterminer les volumes mobilisables, tels que la capacité vitale forcée (CVF) et le volume expiré maximal à la première seconde (VEMS), ainsi que les débits aériens expiratoires tels que le débit

expiratoire de pointe, les débits instantanés (c'est-à-dire, débit expiratoire maximal à 25, 50 et 75% de la CVF), et le débit expiratoire maximal médian (8).

La détermination des volumes pulmonaires statiques (VPS) nécessite soit une pléthysmographie corporelle totale, soit le recours à des méthodes de dilution de gaz (9). Lors d'une pléthysmographie, les deux principaux paramètres mesurés sont le volume de réserve expiratoire et le volume gazeux thoracique (VGT), qui correspond à la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). La mesure du volume de réserve expiratoire et de la CRF permet de calculer d'autres VPS tels que le volume résiduel (VR), la capacité pulmonaire totale (CPT), ainsi que les rapports CRF/CPT et VR/CPT.

La DLCO est une technique qui explore la diffusion de l'oxygène depuis les alvéoles jusqu'à sa combinaison chimique avec l'hémoglobine (10). Les principaux paramètres mesurés/déterminés lors de cette technique sont la DLCO, le volume alvéolaire (VA) et le coefficient de transfert du monoxyde de carbone (KCO = DLCO/VA) (10).

### COMMENT INTERPRETER LES PARAMETRES DES EFR<sub>s</sub> ?

Avant d'entamer l'interprétation des EFRs, il est essentiel de s'assurer que les mesures sont conformes aux exigences techniques de qualité lors de leur réalisation (8-13). Cette étape, déjà largement décrite dans des publications antérieures (8-14), garantit que les résultats interprétés reflètent réellement la fonction respiratoire du malade. Par conséquent, il convient de traiter avec prudence les EFRs de moindre qualité, car elles ne donnent pas une image précise des déficiences fonctionnelles (11).

L'interprétation des paramètres des EFRs peut être résumée en cinq étapes. La première étape consiste à comparer les paramètres déterminés à ceux observés dans une population de référence d'individus en bonne santé. Cette étape permet de déterminer si le paramètre fonctionnel est bas, normal, ou augmenté. La deuxième étape vise à identifier d'éventuels déficits ventilatoires, tels qu'un déficit ventilatoire obstructif (DVO) et/ou restrictif (DVR), qui peuvent être observés dans certaines maladies respiratoires ou extra-respiratoires chroniques. La troisième étape consiste à évaluer la sévérité du déficit ventilatoire identifié ou de la baisse de la DLCO. La quatrième étape consiste à évaluer la réponse au test de bronchodilatation,

si celui-ci a été réalisé. Enfin, si des résultats antérieurs d'EFRs sont disponibles, il est important d'identifier les changements significatifs de certains paramètres au fil du temps en comparant les résultats actuels aux résultats antérieurs. Cela constitue la cinquième étape d'interprétation des EFRs.

**Etape 1.** Comparaison des paramètres ventilatoires déterminés aux valeurs de référence

En l'absence d'un point de référence spécifique intra individuel, il convient de comparer les paramètres déterminés avec les valeurs de référence établies à l'aide de normes (c'est-à-dire d'équations de référence ou tableaux de valeurs normales) (7). Ces normes sont dérivées des résultats d'EFRs effectuées sur un échantillon important et représentatif de la population générale ayant des caractéristiques anthropométriques, ethniques, socio-économiques et environnementales similaires à celles du malade soumis aux EFRs. De manière générale, «la fourchette normale» est définie comme la plage de valeurs englobant 95% de la population saine. Ainsi, la limite inférieure de la normale correspond à la valeur en dessous de laquelle se situent 2,5% de la population saine, et inversement pour la limite supérieure de la normale.

La Global lung function Initiative (GLI) a publié des équations de référence pour les paramètres spirométriques en 2012 (GLI-2012) (14), pour la DLCO en 2017 (GLI-2017) (15), et pour les VPS en 2021 (GLI-2021) (16). A partir de 2021, il est recommandé d'utiliser ces normes lors de l'interprétation des paramètres des EFRs. Un des principaux avantages de ces équations de référence est la possibilité de standardiser les rapports et l'interprétation des mesures de la fonction pulmonaire (17). En effet, les équations GLI (14-16) sont cohérentes entre elles, ce qui permet d'avoir un ensemble unique d'équations de mesure de la fonction pulmonaire, évitant ainsi des résultats discordants entre les différentes mesures des EFRs et des erreurs potentielles de classification des phénotypes physiologiques (18). Les équations GLI incluent les plus grands échantillons d'individus en bonne santé et représentent une norme unique pour comparer les mesures observées, applicable à tous les âges (14-16).

L'utilisation des normes GLI (14-16) implique le calcul d'un z-score pour chacun des paramètres des EFRs (15). Le z-score indique de combien une mesure s'écarte de sa valeur prédite (c'est-à-dire le nombre d'écart-types par

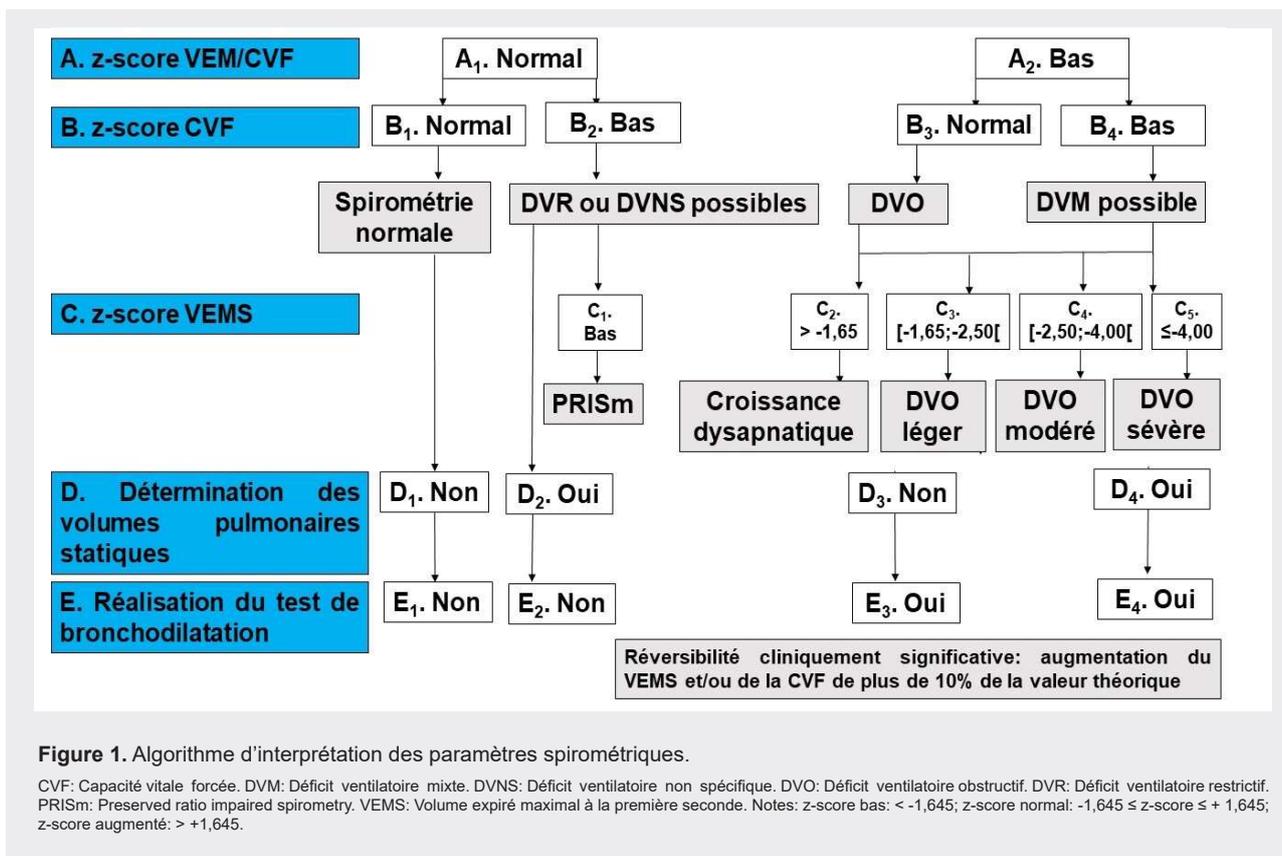
rapport à la moyenne), et 90% des individus en bonne santé ont un z-score compris entre «-1,645» et «+1,645» (14, 16, 19). Le z-score présente l'avantage d'être exempt de tout biais lié à l'âge, à la taille, au sexe ou au groupe ethnique, et il facilite également l'interprétation des EFRs (22).

Les algorithmes et les logiciels pour les équations GLI (14-16) sont disponibles gratuitement à partir du site [www.lungfunction.org](http://www.lungfunction.org). En résumé, un paramètre fonctionnel respiratoire est considéré comme 'bas' si son z-score est inférieur à -1,645, et considéré comme 'augmenté' si son z-score est supérieur à +1,645 (4, 20).

**Etapas 2.** Identification des déficits ventilatoires

Cette étape implique la comparaison des paramètres déterminés avec les seuils distinctifs des principaux déficits observés dans les maladies respiratoires, tels que le DVO, le DVR, le déficit ventilatoire mixte (DVM), le déficit ventilatoire non spécifique (DVNS), ou la spirométrie altérée avec un rapport préservé (ou PRISm pour preserved ratio impaired spirometry). Certains de ces déficits peuvent être objectivés par la spirométrie (Figure 1), tandis que d'autres nécessitent la détermination des VPS et donc l'utilisation de la pléthysmographie (Figure 2) (4). L'analyse des aspects de la courbe débit/volume pour la spirométrie et des résistances pour la pléthysmographie constitue une étape cruciale dans l'interprétation des EFRs, car elle permet d'évoquer des déficiences spécifiques (6). Ces aspects ont été détaillés dans des publications antérieures (5, 6, 8). Dans les paragraphes suivants concernant l'interprétation de la spirométrie, de la pléthysmographie et de la DLCO, les termes «bas», «normal», et «augmenté» correspondent à des z-scores des paramètres concernés, respectivement, «< -1,645», entre «-1,645» et «+ 1,645», et «> +1,645».

La figure 1 présente l'algorithme d'interprétation des paramètres spirométriques selon l'ATS/ERS-2022 (4). La première étape consiste à évaluer le rapport VEMS/CVF, avec deux scénarios possibles. Le premier scénario concerne un rapport VEMS/CVF normal (cellule A1). Dans ce cas, si la CVF est normale (cellule B1), cela oriente vers une spirométrie normale. Si la CVF est basse (cellule B2), cela suggère un DVR ou un DVNS, tandis que la baisse simultanée de la CVF et du VEMS (cellule C1) oriente vers un PRISm. Le deuxième scénario concerne un rapport VEMS/CVF bas (cellule A2). Dans ce cas, si la CVF est normale (cellule B3), cela indique un DVO, tandis que si la CVF est basse (cellule B4), cela suggère un DVM.



La figure 2 présente l'algorithme d'interprétation des VPS selon l'ATS/ERS-2022 (4). La première étape consiste à évaluer la CPT et trois scénarios possibles. Le premier scénario concerne une CPT augmentée (cellule A1). Dans ce cas, si les rapports CRF/CPT et/ou VR/CPT sont augmentés (cellule B1), cela suggère une distension pulmonaire, tandis que leur normalisation (cellule B2) oriente vers un poumon large. Le deuxième scénario concerne une CPT normale (cellule A2). Dans ce cas, si les rapports CRF/CPT et/ou VR/CPT sont augmentés (cellule B3), cela indique une distension pulmonaire, tandis que leur normalisation (cellule B4), conclut à des VPS normaux. Cependant, l'association d'un VEMS bas, d'une CVF basse et d'un rapport VEMS/CVF normal (cellule D) suggère un DVNS. Le troisième scénario concerne une CPT basse (cellule A3), ce qui confirme le diagnostic d'un DVR. Trois types de DVR sont possibles: i) DVM: Augmentation des rapports CRF/CPT et/ou VR/CPT (cellule B5) et baisse du rapport VEMS/CVF (cellule C1); ii) DVR complexe: Augmentation des rapports CRF/CPT et/ou VR/CPT (cellule B5) et normalisation du rapport

VEMS/CVF (cellule C2); et iii) DVR simple: Rapports CRF/CPT et/ou VR/CPT normaux (cellule B6).

La figure 3 présente l'algorithme d'interprétation de la DLCO selon l'ATS/ERS-2022 (4). Trois situations se présentent. La première situation concerne une DLCO basse (cellule A1). Dans ce cas, il est nécessaire d'évaluer le VA et le KCO. Une baisse du VA (cellule B1) et du KCO (cellule C1), suggère un processus entraînant une perte de la structure capillaire alvéolaire avec une perte de volume pulmonaire. Cependant, si la baisse du VA (cellule B1) est associée à une normalisation du KCO (cellule C2), cela oriente vers un processus impliquant soit une perte localisée de volume pulmonaire, soit une expansion pulmonaire incomplète. Enfin, si le VA se normalise (cellule B2), cela suggère une anomalie vasculaire pulmonaire, un emphysème avec volume pulmonaire conservé ou une anémie. La deuxième situation concerne une DLCO normale (cellule A2). La troisième situation concerne une DLCO augmentée (cellule A3). Cela peut évoquer une augmentation du flux sanguin, une érythrocytose ou une hémorragie alvéolaire.

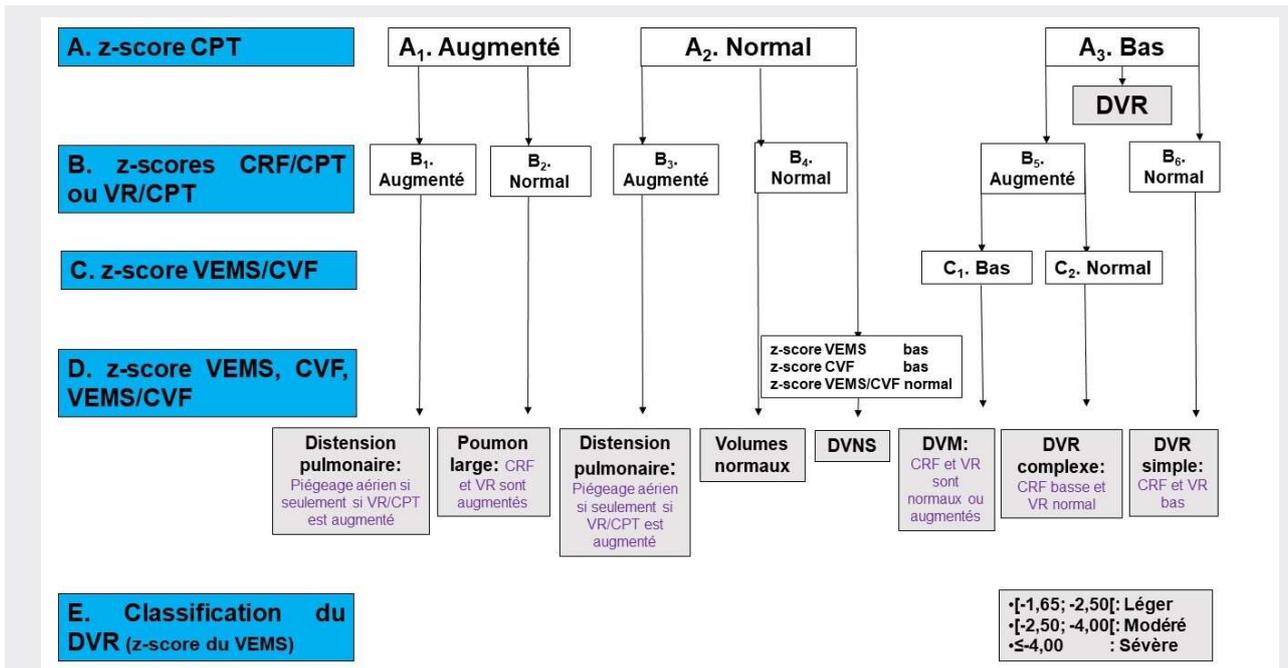


Figure 2. Algorithme d'interprétation des volumes pulmonaires statiques.

CPT: Capacité pulmonaire totale. CRF: Capacité résiduelle fonctionnelle. CVF: Capacité vitale forcée. DVM: Déficit ventilatoire mixte. DVNS: Déficit ventilatoire non spécifique. DVR: Déficit ventilatoire restrictif. VEMS: Volume expiré maximal à la première seconde. VR: Volume résiduel. Notes: z-score bas: < -1,645; z-score normal: -1,645 ≤ z-score ≤ +1,645; z-score augmenté: > +1,645

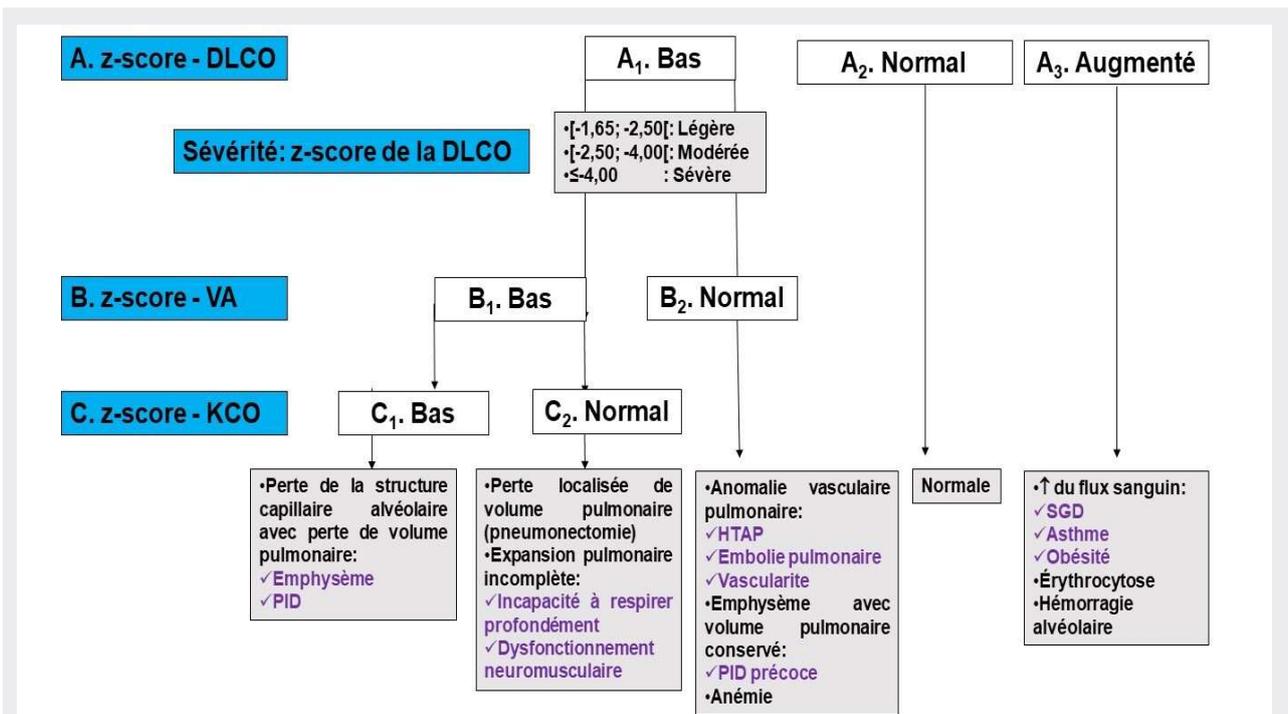


Figure 3. Algorithme d'interprétation de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO).

HTAP: Hypertension artérielle pulmonaire. KCO: DLCO/VA. PID: Pneumopathie interstitielle diffuse. SGD: Shunt gauche-droite. VA: Volume alvéolaire. Notes: z-score bas: < -1,645; z-score normal: -1,645 ≤ z-score ≤ +1,645; z-score augmenté: > +1,645

**Déficit ventilatoire obstructif**

Les cas particuliers des obstructions des voies aériennes centrales et hautes ont été décrits dans des publications antérieures (5, 6, 8). En ce qui concerne le DVO distal, il a longtemps été considéré que la baisse des débits instantanés aux faibles volumes pulmonaires et du débit expiratoire maximal médian était le signe d'un tel déficit, mais la performance de ces paramètres s'est avérée médiocre. En effet, ces débits sont très variables, peu reproductibles et non spécifiques de la maladie des petites voies aériennes (21). Dans l'ensemble, il n'y a pas suffisamment de preuves pour confirmer l'existence de ce DVO distal en se basant uniquement sur les paramètres d'une spirométrie. Toutefois, l'analyse visuelle de l'aspect de la courbe débit/volume peut orienter vers

l'existence de ce déficit en montrant un aspect de la courbe concave vers le haut (4). En outre, d'autres outils tels que l'oscillométrie ou le «test de rinçage multibreath» peuvent être utiles pour identifier un DVO distal, mais ils ne sont pas couramment utilisés dans la pratique clinique (22).

La spirométrie seule suffit à poser le diagnostic d'une obstruction bronchique (c'est à dire un DVO), mais il est possible de trouver d'autres anomalies objectivées lors de la mesure des VPS, qui peuvent constituer des signes indirects en faveur d'une obstruction (Figure 2, Tableau 1). Les anomalies des VPS sont souvent le témoignage de l'existence d'une distension pulmonaire (en cas d'augmentation des rapports CRF/CPT et VR/CPT) ou d'un piégeage gazeux (en cas d'augmentation seulement du rapport VR/CPT).

**Tableau 1.** Classifications des déficits ventilatoires définis selon les volumes pulmonaires statiques (modifié d'après la référence (4)).

Déficit ventilatoire	z-scores*					Remarques
	CPT	CRF	VR	CRF/CPT	VR/CPT	
<b>Déficit ventilatoire obstructif</b>	N ou ↑	N ou ↑	↓	N ou ↑	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distension pulmonaire: CRF/CPT et VR/CPT ↑</li> <li>• Piégeage aérien: Seulement VR/CPT ↑</li> </ul>
<b>Déficit ventilatoire restrictif simple</b>	↓	↓	↓	N	N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemple: Maladie interstitielle pulmonaire</li> </ul>
<b>Déficit ventilatoire restrictif complexe</b>	↓	↓	N ou ↑	N	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VEMS/CVF N Processus qui réduit de façon disproportionnée la CVF relativement à la CPT (Exemples: Maladies des petites voies aériennes avec piégeage aérien, obésité)</li> </ul>
<b>Déficit ventilatoire mixte</b>	↓	N ou ↓	N ou ↑	N ou ↑	N ou ↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VEMS/CVF ↓</li> </ul>
<b>Poumons larges</b>	↑	↑	↑	N	N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faiblesse du diaphragme: CPT ↓</li> <li>• Faiblesse des muscles expiratoires: VR ↓</li> </ul>
<b>Faiblesse musculaire</b>	↓	N ou ↓	↑	↑	↑	
<b>Obésité</b>	N ou ↓	↓	N ou ↑	N ou ↓	N ou ↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VRE ↓</li> <li>• Obésité morbide**: CPT ↓</li> <li>• Effort insuffisant</li> </ul>
<b>Effort sous-optimal</b>	↓	N	↑	↑	↑	

CPT: Capacité pulmonaire totale. CRF: Capacité résiduelle fonctionnelle. CVF: Capacité vitale forcée. VEMS: Volume expiratoire maximale à la 1ère seconde. VR: Volume résiduel. VRE: Volume de réserve expiratoire.

\*Notes:  
 ↓ : Paramètre bas (z-score < -1,645)  
 N: Paramètre normal (-1,645 ≤ z-score ≤ + 1,645)  
 ↑ : Paramètre augmenté (z-score > +1,645)  
 \*\*Obésité morbide: Indice de masse corporelle ≥ 40 kg/m<sup>2</sup>

Dans les conditions d'un effort maximal, la présence d'un rapport VEMS/CVF bas avec un VEMS normal chez un sujet en bonne santé peut être la conséquence d'une «croissance dysapnatique» (4) (Figure 1, cellule C2). Cette dernière correspond à une croissance inégale des voies respiratoires et du parenchyme pulmonaire, la croissance du parenchyme pulmonaire et de la longueur des voies aériennes étant plus importante que celle du calibre des voies aériennes (23). Ce profil peut être une variante de la normale chez les personnes en bonne santé, mais il peut également être un indicateur de la propension à développer une maladie obstructive (23-26). Il convient d'envisager la possibilité que ce profil fonctionnel corresponde à une variante de la normale, en particulier chez un adulte en bonne santé, asymptomatique, surtout s'il est de sexe masculin, de grande taille et d'âge jeune, d'autant plus que la CVF est augmentée et les débits distaux

sont normaux (23). Chez l'enfant, ce profil est associé à l'obésité ou à une prise de poids rapide pendant la petite enfance, et il est prédictif de la limitation des débits expiratoires, constituant ainsi un indicateur de la propension à l'obstruction (24-26). En conclusion, afin de déterminer si la croissance dysapnatique est une obstruction ou une variante de la normale, il peut être utile de se référer aux résultats d'autres examens complémentaires tels que le test de bronchodilatation, la mesure de la DLCO, l'exploration des muscles respiratoires et l'épreuve d'effort, et de les confronter au contexte clinique (4). En outre, il est essentiel de vérifier la bonne exécution des manœuvres expiratoires forcées avant de tirer des conclusions. En effet, le VEMS étant dépendant de l'effort, un effort sous-maximal peut entraîner une surestimation du VEMS et expliquer de tels résultats (23).

### **Déficit ventilatoire restrictif**

Le DVR est défini par une CPT basse (4) (Figure 2). Le DVR peut résulter d'une altération de l'une des trois forces suivantes: i) Diminution de la force musculaire dans les myopathies, ii) Augmentation de la pression de rétraction élastique dans les fibres pulmonaires, qui est principalement due à la présence de tissu fibrotique rigide dans les poumons, et iii) Réduction de la compliance pariétale (27). La détermination des VPS est nécessaire pour confirmer une CPT basse. Cependant, un DVR peut être suspecté lors d'une spirométrie en présence d'une CVF basse alors que le rapport VEMS/CVF est normal ou augmenté (4) (Figure 1). Cette dernière situation peut évoquer soit un DVR, soit un DVNS (4) (Figure 1, Cellule B2). Il est important de noter qu'une CVF basse en elle-même ne prouve pas l'existence d'un DVR, car elle est associée à un DVR dans moins de 50% des cas (28). Cependant, selon les recommandations ATS/ERS-2022, une CVF normale peut exclure un DVR (4).

Chez la plupart des malades présentant un processus restrictif tel qu'une pneumopathie interstitielle, la CPT, la CVF et le VEMS sont réduits de manière proportionnelle. Ainsi, lorsqu'ils sont exprimés en pourcentage de la valeur prédite (%pred), la différence entre CPT%pred et CVF%pred est négligeable. Ce scénario correspond au DVR «simple» (29 (Figure 2)). Cependant, de nombreux malades présentent un DVR avec une différence entre CPT%pred et CVF%pred dépassant les 10% (29). Cette diminution disproportionnée de CVF%pred par rapport à CPT%pred entraîne une augmentation du VR et du rapport VR/CPT, ce qui témoigne de la présence d'un piégeage aérien, sans pour autant s'accompagner d'une baisse du rapport VEMS/CVF (29). C'est ce qui caractérise le DVR complexe (Figure 2). Le piégeage aérien observé dans ce cas peut refléter une obstruction occulte ou une incapacité mécanique à réduire le volume de la cavité thoracique, comme dans le cas des maladies neuromusculaires ou de l'obésité (29). Enfin, il convient de noter que l'obésité ne peut être incriminé dans un processus restrictif que pour des valeurs d'indice de masse corporelle dépassant 40 kg/m<sup>2</sup> (30) (Tableau 1).

### **Déficit ventilatoire mixte**

L'association d'une CPT basse et d'un rapport VEMS/CVF bas indique la présence simultanée d'une obstruction et d'une restriction, ce qui est appelé un DVM (4) (Figure 2). Le DVM est généralement caractérisé par une atteinte du

parenchyme pulmonaire et une atteinte extraréspiratoire. Le cas le plus fréquent est l'association entre la BPCO et l'insuffisance cardiaque congestive ou l'obésité (31).

En l'absence de détermination des VPS, l'association d'un rapport VEMS/CVF bas avec une CVF normale permet d'exclure un DVM (4). Cependant, lorsque le rapport VEMS/CVF est bas et la CVF est également basse, une restriction associée ne peut être exclue et la présence d'un DVM est alors possible (31). La mesure des VPS confirme généralement cette situation en objectivant une CPT basse dans seulement 10% des cas (31). Le plus souvent, la CPT s'avère normale, alors que la CRF et le VR sont augmentés (4). La baisse de la CVF est en fait due à l'augmentation du VR. Ces anomalies sont souvent le signe d'un piégeage gazeux ou d'une distension pulmonaire, et constituent des indicateurs indirects en faveur d'une obstruction (Figure 2, Tableau 1).

### **PRISm et DVNS**

En l'absence de détermination de la CPT, la présence d'une CVF ou d'un VEMS bas avec un rapport VEMS/CVF normal correspond à ce que les anglo-saxons appellent le PRISm (32, 33) (Figure 1). Le PRISm est une entité assez fréquente, avec une prévalence d'environ 10% (32, 33). Ce profil peut être observé en cas de restriction réelle ou d'atteinte des petites voies aériennes (34), ou peut résulter d'un effort réduit, reflétant l'incapacité de l'individu à inspirer ou expirer complètement, ce qui conduit à une surestimation du VEMS et de la CVF (4). Dans ce cas, la courbe débit-volume peut présenter une concavité vers le bas à la fin de la manœuvre (4). Dans des conditions d'effort optimal, et en l'absence de détermination de la CPT, il peut être utile d'effectuer un test de bronchodilatation (4, 30). Si ce test est cliniquement significatif, il peut indiquer l'existence d'un certain degré de réactivité bronchique (4, 30). Il est également possible de compléter l'évaluation par une mesure de la capacité vitale lente. Si la CVF diffère de la capacité vitale lente de plus de 100 ml, cela peut refléter un collapsus des petites voies aériennes avec piégeage aérien qui se produit lors de l'expiration forcée (35).

Un DVNS est défini par la présence d'un VEMS bas, d'une CVF basse, d'un rapport VEMS/CVF normal et d'une CPT normale (30, 36) (Figure 2). La signification d'un DVNS n'est pas très claire (30). Il peut être le signe précurseur d'un processus restrictif ou obstructif (36). En effet, le suivi à long terme de ces malades montre que le DVNS reste stable chez les deux tiers des malades,

tandis qu'il évolue vers une restriction ou une obstruction dans un tiers des cas (36). Dans le cas d'un processus restrictif, la baisse de la CVF n'est pas encore accompagnée d'une baisse du VR (4, 36). En revanche, dans le cas d'un processus obstructif, le collapsus des petites voies aériennes peut entraîner une baisse de la CVF et une augmentation du VR avant que le rapport VEMS/CVF ne baisse (4). Enfin, il convient de mentionner que lors de l'évaluation des malades atteints de pneumothorax ou d'emphysème bulleux non communicant, une discordance est souvent observée entre un VEMS et une CVF bas, tandis que le rapport VEMS/CVF et la CPT déterminés par pléthysmographie sont dans les normes (6). Dans de telles situations, il est recommandé de déterminer la CPT à l'aide d'autres techniques, en particulier la dilution gazeuse (6).

### **Altération de l'échangeur pulmonaire**

L'algorithme d'interprétation de la DLCO repose sur trois paramètres: la DLCO, le VA et le KCO (4) (Figure 3). Quatre situations anormales sont possibles. La première situation se caractérise par une baisse de la DLCO, du VA et du KCO, ce qui oriente vers un emphysème ou une pneumopathie interstitielle diffuse (PID) (c'est-à-dire une altération de la structure capillaire alvéolaire avec perte de volume pulmonaire). La deuxième situation se caractérise par une baisse de la DLCO et du VA avec un KCO normal, ce qui peut être associé à des séquelles d'une pneumonectomie (c'est-à-dire une perte localisée de volume), ou une incapacité à respirer profondément ou un dysfonctionnement neuromusculaire (c'est-à-dire une expansion pulmonaire incomplète). La troisième situation se caractérise par une baisse de la DLCO avec un VA normal, ce qui peut être associé à une hypertension artérielle pulmonaire, une embolie pulmonaire, une vascularite (c'est-à-dire une anomalie vasculaire pulmonaire), un stade précoce de PID (c'est-à-dire un emphysème avec un volume pulmonaire conservé) ou une anémie. La quatrième situation se caractérise par une augmentation de la CPT, ce qui évoque soit un shunt gauche-droit, un asthme ou une obésité (c'est-à-dire une augmentation du flux sanguin), une érythrocytose ou une hémorragie alvéolaire.

### **Etape 3. Evaluation de la sévérité des déficits ventilatoires et de la baisse de la DLCO**

Les recommandations ATS/ERS-2022 ont introduit une innovation majeure en ce qui concerne la classification de la sévérité du DVO, du DVR et de la baisse de la DLCO (4). Tant pour le DVO que pour le DVR, une même échelle de sévérité à trois niveaux est utilisée, basée sur le z-score du VEMS (Figures 1 et 2): légère, modérée, et sévère. Pour la DLCO,

l'échelle de sévérité est basée sur le z-score de la DLCO et comporte également trois niveaux (Figure 3): légère, modérée, et sévère. Il est important de noter que cette classification ne prend en compte que le risque de mortalité (4) et ne reflète pas nécessairement la sévérité des symptômes, le risque d'exacerbations ou les conséquences sociales.

### **Etape 4. Etude de la réponse au test de bronchodilatation**

Le test de bronchodilatation permet d'évaluer le degré d'amélioration de la fonction respiratoire en réponse à l'administration d'un bronchodilatateur (8). Sur le plan pratique, ce test consiste à réaliser une spirométrie (ou une pléthysmographie) après l'inhalation de 400 µg d'un bronchodilatateur à action brève de type β-2 mimétique (tel que le Salbutamol) et/ou 30 minutes après l'inhalation de 160 µg d'un parasympatholytique à action brève (tel que le Bromure d'Ipratropium) (8). Si le test de bronchodilatation est réalisé à des fins diagnostiques, les bronchodilatateurs doivent être arrêtés avant le test, et la durée de l'arrêt dépend du type de bronchodilatateur utilisé (8). Selon les recommandations ATS/ERS-2022 (4), la réversibilité est considérée comme cliniquement significative lorsqu'il y a une augmentation du VEMS et/ ou de la CVF de plus de 10% par rapport à la valeur prédite, quel que soit l'âge du malade (4).

### **Etape 5. Identification des changements significatifs au fil du temps.**

Lorsque le malade dispose d'EFRs antérieures, il est important de comparer les résultats actuels avec les résultats précédents afin de détecter tout changement significatif au fil du temps (4). L'évaluation longitudinale des paramètres des EFRs permet de repérer un déclin excessif de la fonction respiratoire causé par une exposition à des agents nocifs ou une maladie sous-jacente (37). Idéalement, la mesure de la fonction pulmonaire d'un individu avant l'apparition de sa maladie devrait servir de référence (37). Pour évaluer le déclin de la fonction respiratoire, il est nécessaire de comparer ce déclin au déclin physiologique observé dans la population en bonne santé (4). Cependant, il est important de prendre en compte la variabilité biologique et les erreurs de mesure. Ainsi, pour considérer le déclin de la fonction respiratoire comme accéléré, il faut que la baisse observée chez un patient dépasse à la fois le déclin physiologique, la variabilité biologique et l'erreur de mesure (4). Chez l'adulte, le quotient du VEMS (VEMSQ) constitue une méthode intéressante pour évaluer le déclin de la fonction respiratoire (38). Il s'agit du VEMS rapporté au premier percentile spécifique en

fonction du sexe (38). Ce premier percentile a une valeur de 0,5 chez l'homme et de 0,4 chez la femme (38). Le VEMSQ exprime le VEMS par rapport à une limite inférieure qui représente la « ligne de survie » en dessous de laquelle le risque de mortalité est augmenté (38). Dans des conditions normales, le VEMSQ diminue d'une unité tous les 18 ans chez les individus en bonne santé, et d'une unité tous les dix ans chez les tabagiques et les sujets âgés (38). Selon les recommandations ATS/ERS-2022, le VEMSQ devrait rester stable sur une courte période et une baisse rapide de sa valeur devrait indiquer un changement significatif de la fonction respiratoire (4). Cependant, il n'y a pas de seuils spécifiques pour définir la stabilité ou la baisse rapide du VEMSQ et il peut être difficile en pratique de détecter avec certitude tout changement excessif. De plus, le VEMSQ a été utilisé pour évaluer la sévérité de la BCPO, et contrairement à la méthode traditionnelle basée sur le VEMS%pred, le VEMSQ était capable de distinguer les classes les plus sévères de la BCPO des stades moins sévères (39).

Chez l'enfant, plusieurs considérations doivent être prises en compte (4). En effet, un enfant n'est pas un adulte en miniature (40-44). L'évaluation longitudinale de la fonction respiratoire pendant une période de croissance et de développement rapide ne peut pas être extrapolée à partir d'études sur des adultes (4, 43). Par conséquent, l'interprétation du déclin chez l'enfant doit tenir compte de la complexité de la fonction respiratoire pendant cette période de la vie (45). En 2020, un score de changement conditionnel a été développé pour évaluer le déclin de la fonction respiratoire chez l'enfant (45). Ce score prend en compte les changements longitudinaux du z-score du VEMS à l'aide de la formule suivante:

$$\frac{z\text{-score VEMS } t2 - (r * z\text{-score VEMS } t1)}{\sqrt{1-r^2}}$$

où z-score VEMS t1 et z-VEMS t2 correspondent aux z-scores des VEMS mesurés respectivement lors de la première et la deuxième visite, et «r» est calculé selon la formule suivante:  $r = 0,642 - 0,04 \times \text{Temps entre les 2 visites (an)} + 0,020 \times \text{Age } t1 \text{ (an)}$ . Ce score de changement conditionnel est considéré normal lorsqu'il se situe entre «-1,96» et «+1,96» (45,46). Ce score est un outil prometteur pour évaluer le déclin de la fonction respiratoire chez l'enfant, mais d'autres études restent nécessaires pour en évaluer la pertinence.

### L'AVENIR DE L'INTERPRETATION DES EFRS

Avec les avancées de l'intelligence artificielle, de nombreuses études ont évalué ses performances diagnostiques dans l'interprétation des EFRs (47). Ces études ont démontré

que l'intelligence artificielle dépasse largement les capacités humaines, en particulier lorsque le clinicien manque d'expérience (47). Cependant, il est également évident que la collaboration entre le médecin et l'intelligence artificielle peut améliorer l'interprétation des EFRs de manière significative (47).

### CONCLUSION

Les EFRs sont essentielles pour le diagnostic et le suivi des maladies respiratoires chroniques. Au fil des décennies, l'un des principaux défis a été d'améliorer les performances diagnostiques des EFRs et de passer à une médecine de précision prenant en compte les particularités de chaque individu. Le développement des normes GLI constitue sans aucun doute l'une des avancées les plus significatives dans le domaine des EFRs. Ces normes tiennent compte des différences interindividuelles liées aux caractéristiques anthropométriques et à l'origine ethnique, permettant ainsi d'obtenir une image aussi précise que possible de la fonction respiratoire de chaque individu. Les normes GLI reflètent la complexité de la fonction pulmonaire, qui évolue tout au long de la croissance, de la maturation et du vieillissement. L'adoption de ces normes a été une étape cruciale dans la transformation fondamentale de l'interprétation des résultats des EFRs. La connaissance de ces stratégies d'interprétation devrait améliorer les possibilités de diagnostic précoce et plus fiable des maladies respiratoires chroniques.

### RÉFÉRENCES

1. GBD Chronic Respiratory Disease Collaborators. Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017. *Lancet Respir Med.* 2020;8(6):585-96.
2. Agustí A, Celli BR, Criner GJ, Halpin D, Anzueto A, Barnes P, et al. Global initiative for chronic obstructive lung disease 2023 report: GOLD executive summary. *Eur Respir J.* 2023;61(4):2300239.
3. GINA. Global strategy for asthma management and prevention 2023. Téléchargeable via ce lien: <https://www.ginasthma.org/reports> (Dernière visite: 2 Juin 2023).
4. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J.* 2022;60(1):2101499.
5. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Stratégies d'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires. *Rev Mal Respir.* 2007;24(3):83-108.

6. Ben Saad H. Interpretation of respiratory functional explorations of deficiency and incapacity in adult. *Tunis Med.* 2020;98(11):797-815.
7. Kammoun R, Ben Saad H. From deficiency to handicap in the respiratory field: lung function tests (LFT) norms and quality of life (QOL) questionnaires validated for the Tunisian population. *Tunis Med.* 2020;98(5):378-95.
8. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of spirometry 2019 Update. An official American thoracic society and European respiratory society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200(8):e70-e88.
9. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation de la mesure des volumes pulmonaires. *Rev Mal Respir.* 2007;24(3):51-64.
10. Graham BL, Brusasco V, Burgos F, Cooper BG, Jensen R, Kendrick A, et al. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J.* 2017;49(1):1600016.
11. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK, et al. Recommendations for a standardized pulmonary function report. An official American thoracic society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2017;196(11):1463-72.
12. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgo F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation de la spirométrie. *Rev mal Respir.* 2007;24(3):27-49.
13. MacIntyre N, Crapo RO, Viegi G, Johnson DC, Van Der Grinten CPM, Brusasco V, et al. Standardisation de la détermination de la diffusion du monoxyde de carbone par la méthode en apnée. *Rev mal Respir.* 2007;24(3):65-82.
14. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J.* 2012;40(6):1324-43.
15. Stanojevic S, Graham BL, Cooper BG, Thompson BR, Carter KW, Francis RW, et al. Official ERS technical standards: Global lung function initiative reference values for the carbon monoxide transfer factor for Caucasians. *Eur Respir J.* 2017;50(3):1700010
16. Hall GL, Filipow N, Ruppel G, Okitika T, Thompson B, Kirkby J, et al. Official ERS technical standard: Global lung function initiative reference values for static lung volumes in individuals of European ancestry. *Eur Respir J.* 2021;57(3).
17. Cooper BG, Stocks J, Hall GL, Culver B, Steenbruggen I, Carter KW, et al. The global lung function initiative (GLI) network: bringing the world's respiratory reference values together. *Breathe.* 2017;13(3):e56-e64.
18. Neder JA. The new ERS/ATS standards on lung function test interpretation: some extant limitations. *Eur Respir J.* 2022;60(2).
19. Ben Salah N, Bejar D, Snene H, Ouahchi Y, Mehiri N, Louzir B. The Z-score: A new tool in the interpretation of spirometric data. *Tunis Med.* 2017;95(8-9):767-71.
20. Ben Saad H. Review of the current use of global lung function initiative norms for spirometry (GLI-2012) and static lung volumes (GLI-2021) in Great Arab Maghreb (GAM) countries and steps required to improve their utilization. *Libyan J Med.* 2022;17(1):2031596.
21. Bhatt SP, Bhakta NR, Wilson CG, Cooper CB, Barjaktarevic I, Bodduluri S, et al. New spirometry indices for detecting mild airflow obstruction. *Sci Rep.* 2018;8(1):17484.
22. Zimmermann SC, Tonga KO, Thamrin C. Dismantling airway disease with the use of new pulmonary function indices. *Eur Respir Rev.* 2019;28(151).
23. Dos Santos Andreato L, Soares MR, Pereira CA. Reduced FEV(1)/FVC and FEV(1) in the normal range as a physiological variant. *Respir Care.* 2019;64(5):570-5.
24. Peralta GP, Abellan A, Montazeri P, Basterrechea M, Esplugues A, Gonzalez-Palacios S, et al. Early childhood growth is associated with lung function at 7 years: a prospective population-based study. *Eur Respir J.* 2020;56(6):2000157
25. Arismendi E, Bantula M, Perpina M, Picado C. Effects of obesity and asthma on lung function and airway dysanapsis in adults and children. *J Clin Med.* 2020;9(11):3762
26. Forno E, Weiner DJ, Mullen J, Sawicki G, Kurland G, Han YY, et al. Obesity and airway dysanapsis in children with and without asthma. *Am J Respir Crit Care Med.* 2017;195(3):314-23.
27. Bokov P, Delclaux C. Interpretation and use of routine pulmonary function tests: Spirometry, static lung volumes, lung diffusion, arterial blood gas, methacholine challenge test and 6-minute walk test. *Rev Med Interne.* 2016;37(2):100-10.
28. Aaron SD, Dales RE, Cardinal P. How accurate is spirometry at predicting restrictive pulmonary impairment? *Chest.* 1999;115(3):869-73.
29. Clay RD, Iyer VN, Reddy DR, Siontis B, Scanlon PD. The "complex restrictive" pulmonary function pattern: Clinical and radiologic analysis of a common but previously undescribed restrictive pattern. *Chest.* 2017;152(6):1258-65.
30. Hyatt RE, Cowl CT, Bjoraker JA, Scanlon PD. Conditions associated with an abnormal nonspecific pattern of pulmonary function tests. *Chest.* 2009;135(2):419-24.
31. Diaz-Guzman E, McCarthy K, Siu A, Stoller JK. Frequency and causes of combined obstruction and restriction identified in pulmonary function tests in adults. *Respir Care.* 2010;55(3):310-6.
32. Higbee DH, Granell R, Davey Smith G, Dodd JW. Prevalence, risk factors, and clinical implications of preserved ratio impaired spirometry: a UK Biobank cohort analysis. *Lancet Respir Med.* 2022;10(2):149-57.
33. Wan ES, Balte P, Schwartz JE, Bhatt SP, Cassano PA, Couper D, et al. Association between preserved ratio impaired spirometry and clinical outcomes in us adults. *JAMA.* 2021;326(22):2287-98.
34. Zhao N, Wu F, Peng J, Zheng Y, Tian H, Yang H, et al. Preserved ratio impaired spirometry is associated with small airway dysfunction and reduced total lung capacity. *Respir Res.* 2022;23(1):298.
35. Chan ED, Irvin CG. The detection of collapsible airways contributing to airflow limitation. *Chest.* 1995;107(3):856-9.
36. Iyer VN, Schroeder DR, Parker KO, Hyatt RE, Scanlon PD. The nonspecific pulmonary function test: longitudinal follow-up and outcomes. *Chest.* 2011;139(4):878-86.
37. Redlich CA, Tarlo SM, Hankinson JL, Townsend MC, Eschenbacher WL, Von Essen SG, et al. Official American thoracic society technical standards: spirometry in the occupational setting. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;189(8):983-93.
38. Miller MR, Pedersen OF. New concepts for expressing forced expiratory volume in 1 s arising from survival analysis. *Eur Respir J.* 2010;35(4):873-82.
39. Anane I, Guezguez F, Knaz H, Ben Saad H. How to stage airflow limitation in stable chronic obstructive pulmonary disease male patients? *Am J Mens Health.* 2020;14(3):1557988320922630.
40. Ben Saad H. In 2023, it is vital to standardize the interpretation of spirometry in children. *Pediatr Pulmonol.* 2023;58(8):2187-2188.
41. Ben Saad H. It is high time we standardize the interpretation of bronchodilator responsiveness in children. *Pediatr Pulmonol.* 2021;56(5):1264-5.
42. Guezguez F, Ben Saad H. What constitutes a "clinically

significant" bronchodilator response in children? *Eur Respir J.* 2020;55(5).

43. Guezguez F, Knaz H, Anane I, Bougrida M, Ben Saad H. The 'clinically significant' bronchodilator responsiveness (BDR) in children: a comparative study between six definitions of scholarly societies and a mini-review. *Expert Rev Respir Med* 2021;15(6):823-32.
44. Saad HB. It is high time for the scholarly societies to standardize the bronchodilator responsiveness in children. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2021;49(2):225-7.
45. Stanojevic S, Filipow N, Ratjen F. Paediatric reproducibility limits for the forced expiratory volume in 1 s. *Thorax*. 2020;75(10):891-6.
46. Ben Saad H. Deterioration of FEV1 in primary ciliary dyskinesia: what about the conditional change score? *Pediatr Pulmonol*. 2023;1-3. DOI:10.1002/ppul.26637.
47. Das N, Happaerts S, Gyselinck I, Staes M, Derom E, Brusselle G, et al. Collaboration between explainable artificial intelligence and pulmonologists improves the accuracy of pulmonary function test interpretation. *Eur Respir J.* 2023;61(5):2201720